

ANALISI COMPARATA DEI DRIVER DELLA DOMANDA DI ENERGIA DEL SETTORE INDUSTRIALE PER L'ITALIA E ALCUNI PAESI UE

Un approccio basato sull'analisi di decomposizione
mediante numeri indice per gli anni 2000-2008 e 2008-2010

MARCO RAO, MARIA GAETA

ENEA – Unità Centrale Studi e Strategie
Sede Legale, Roma



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

ANALISI COMPARATA DEI DRIVER DELLA DOMANDA DI ENERGIA DEL SETTORE INDUSTRIALE PER L'ITALIA E ALCUNI PAESI UE

Un approccio basato sull'analisi di decomposizione
mediante numeri indice per gli anni 2000-2008 e 2008-2010

MARCO RAO, MARIA GAETA

ENEA – Unità Centrale Studi e Strategie
Sede Legale, Roma

I Rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina
<http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici>

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia.

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

ANALISI COMPARATA DEI DRIVER DELLA DOMANDA DI ENERGIA DEL SETTORE INDUSTRIALE PER L'ITALIA E ALCUNI PAESI UE

Un approccio basato sull'analisi di decomposizione mediante numeri indice per gli anni 2000-2008 e 2008-2010

MARCO RAO, MARIA GAETA

Riassunto

Questo lavoro utilizza le metodologie di decomposizione basate su numeri indice per analizzare le determinanti della domanda di energia del comparto manifatturiero nazionale e di altri cinque Paesi UE, a cavallo tra gli anni 2000-2008 e 2008-2010, evidenziando gli effetti della crisi finanziaria internazionale sul comparto manifatturiero.

Parole chiave: Metodi di decomposizione, numeri indice, analisi energetica, settore industriale.

COMPARING KEY DRIVERS OF ENERGY DEMAND FOR ITALY AND OTHER EU COUNTRIES

An Index number decomposition analysis (ID) approach for years 2000-2008 and 2008-2010

Abstract

An index number decomposition analysis (ID) was performed to analyze the drivers of energy demand in the manufacturing sector of Italy, Germany, France, Denmark, the Netherlands and Sweden. The analysis was performed between the years 2000-2008 and 2008-2010, showing the effects of the international financial crisis on the industry sector.

Keywords: *Decomposition analysis, index numbers, energy analysis, manufacturing sector.*

Sommario

Premessa	6
1. Cosa si intende per analisi di decomposizione e a cosa serve	7
2. Brevi cenni storici sullo sviluppo e sui campi di applicazione delle metodologie di decomposizione basate su numeri indice	11
3. Breve descrizione del metodo impiegato nel caso studio	14
4. Risultati.....	15
5.1 Il dataset	15
5.2 I risultati.....	15
5.3 Regressione e decomposizione a confronto per il caso italiano	20
4.4 Integrazioni con altre analisi	21
5. Conclusioni	24
Bibliografia.....	26

Premessa

Le metodologie di decomposizione mediante numeri indice sono metodi statistici che consentono di estendere nell'analisi dinamica portata e significatività dei modelli matematici: il contesto di riferimento di questo lavoro è la domanda di energia del settore industriale, esaminata secondo l'approccio standard di letteratura dell'Agenzia Internazionale dell'Energia di Parigi (IEA, 2004).

I metodi sopra citati sono applicati alla domanda di energia del settore industria, stimata a partire dal livello di attività, rappresentato dal valore aggiunto: la dimensione energetica, rappresentata dalla variabile da spiegare, si connette a quella economica, che diventa di fatto una "componente" del modello esplicativo della prima.

Questo lavoro si apre con una breve parte introduttiva, al cap. 1, tesa a illustrare cosa si intenda per analisi di decomposizione a cosa essa serva; di seguito, al cap. 2, alcune note sullo sviluppo storico della materia, sui principali ambiti di applicazione e su alcuni dettagli metodologici. Si proseguirà con una rapida presentazione della metodologia impiegata, al cap. 3, che, nella parte finale del rapporto, al cap. 4, sarà applicata alla dinamica dei consumi energetici del settore industriale italiano e di altri cinque paesi UE (Danimarca, Germania, Olanda, Francia e Svezia), tra il 2000 e il 2008 e tra il 2008 e il 2010 (ciò allo scopo di mostrare gli effetti della crisi economica tra i due sotto-periodi).

1. Cosa si intende per analisi di decomposizione e a cosa serve

L'analisi di decomposizione (*Index Numbers Decomposition Analysis* o IDA, nella letteratura anglosassone) è un metodo di tipo descrittivo, il cui principale vantaggio risiede nel fornire una chiara e accurata descrizione dei principali driver della variabile oggetto di studio, anche in assenza di serie storiche significativamente lunghe (Lofgren & Muller, 2010). Questi metodi possono essere considerati un complemento rispetto ad altri classici strumenti dell'inferenza statistica, quali l'analisi di regressione, rispetto ai quali si segnalano per la minore richiesta di dati di input (un'analisi di decomposizione è possibile anche nell'ipotesi di pochi dati).

Si supponga di voler analizzare il profilo temporale di una variabile rilevante nel *policy making*, come ad esempio la domanda di energia di un settore di attività economica; supponiamo altresì di disporre di un insieme di dati storici da utilizzare allo scopo e di disporre di un modello matematico della variabile stessa.

Un'analisi di decomposizione basata su numeri indice mostra cosa accade nel tempo alla variabile in esame quando si fa variare solo una singola "componente" per volta del modello della stessa, rimanendo immutate le rimanenti. Questo tipo di calcolo è esemplificabile, in primissima approssimazione, con l'applicazione di un indice di Laspeyres all'equazione della variabile stessa.

I momenti fondamentali di questo tipo di analisi sono:

- I. la scelta del modello che "spieghi" la variabile oggetto di studio;
- II. il tipo di numero indice da applicare.

In questo lavoro, la variabile presa in considerazione è la domanda di energia del settore industria in Italia: prima di passare alla metodologia impiegata, si propongono alcune note di introduzione al tipo di analisi qui applicato.

Un modello organico elementare della domanda di energia può essere costruito mediante tre componenti: Attività (*output*), Struttura (*composizione*) e Intensità energetica sotto-settoriale (*consumo di energia per unità di prodotto*) (IEA, 2004).

Si supponga di esaminare un settore industriale fittizio, composto da n branche di attività, di un dato Paese. Siano: E la domanda di energia complessiva; A il livello di attività economica (l'output globale) del settore; S_i il contributo del settore all'output totale, in termini percentuali sul totale, dalla branca i -esima, per i che va da 1 a n ; infine, sia I_i l'intensità energetica sotto-settoriale industriale (la quantità di energia consumata dalla branca i -esima per poter produrre la sua quota di output).

E' allora possibile scrivere:

$$1. E = A * \sum_{i=1}^n S_i * I_i$$

La 1) è un'identità: essa afferma che la domanda di energia del settore industriale si compone *del livello di attività dello stesso e della parte che dipende dal peso di ogni sotto-settore sul totale, ponderato per l'energia che ognuno di quei sotto-settori consuma.*

Il confronto tra il valore della variabile, così come espresso dalla 1), fra un certo istante di tempo iniziale 0 ed uno finale t, può agevolmente essere effettuato con un numero indice¹: per agevolare la presentazione, si fa ricorso al più semplice² tra gli indici utilizzabili, quello di Laspeyres:

$$2. D_E = A_t S_0 I_0 / A_0 S_0 I_0$$

Nella 2) varia solo il livello della componente Attività, "ferme restando" le componenti Struttura ed Intensità: tale equazione *dà la misura di quanto sarebbe variata la domanda di energia se fra 0 e t fosse cambiato solo l'output del settore e fossero rimaste invariate struttura settoriale (tutte le branche conservano la loro quota di VA sul totale) ed intensità energetica sotto-settoriale (ogni branca consuma la stessa quantità di energia per fare il suo lavoro).*

Un semplice esempio numerico può chiarire ulteriormente tutto ciò.

Si osservi la tabella sottostante, costruita con dati ipotetici:

*Tabella 1 – Un esempio di decomposizione dei consumi di energia*³

Industria X – Variazioni nei consumi energetici dall'anno 0 all'anno t

	Anno 0				Anno T			
	E ₀	Y ₀	S ₀	I ₀	E _t	Y _t	S _t	I _t
Settore 1	30	10	0	3	80	40	1	2
Settore 2	20	40	1	0,5	16	40	1	0,4
Industria	50	50	1	1,0	96	80	1	1,2

Elaborazione ENEA

Dove E rappresenta la domanda di energia, Y, il livello di attività, S, la quota che ogni branca industriale ha sull'output totale ed I, l'intensità energetica sotto-settoriale.

¹ Un numero indice può essere usato per misurare la variazione di una grandezza tra due istanti di tempo, utilizzando il valore della stessa all'inizio ed alla fine del periodo considerato. L'esempio forse più tipico e conosciuto riguarda gli indici di prezzo, con i quali confrontiamo il costo delle merci acquistate in un certo "paniere" di spesa nel corso del tempo. Cenni alla notevole letteratura sui numeri indice richiederebbero una trattazione a parte: tra le numerose opere di sintesi presenti se ne segnala una (Diewert, 2001) per completezza ed estensione della trattazione.

² L'aggettivo "semplice" si riferisce alla praticità di applicazione: è opportuno ricordare che un numero indice è definito "semplice" se si riferisce ad un rapporto tra due numeri. Un indice di tipo Laspeyres è, a tutti gli effetti, un indice "complesso" poiché al numeratore ed al denominatore riporta dei prodotti (tipicamente, prezzi per quantità, come per gli indici di prezzo) tra variabili che si "ponderano" a vicenda (prezzi ponderati per quantità relative ad un periodo base, in tal caso).

³ La tabella 1 è una citazione di un classico della letteratura sulla IDA (Ang & Zhang, 2000), del quale replica fedelmente numeri ed arrangemento dei dati.

Sia D_{tot} la variazione (differenza totale) di E tra l'anno 0 e l'anno t. Va detto che il cambiamento di E, fra 0 e t, è di norma espresso in due modi diversi, relativi a due distinti modelli; quello *moltiplicativo*, basato sulla formula:

$$3. D_{tot} = E_t/E_0$$

che, riscrivendo la 1) per mezzo delle componenti di E porta all'equivalenza:

$$4. D_{tot} = D_{act}D_{str}D_{int}$$

o quello *additivo*, espresso da:

$$5. \Delta_{tot} = E_t - E_0$$

con cui, replicando la 4), si ottiene:

$$6. \Delta_{tot} = \Delta_{act} + \Delta_{str} + \Delta_{int}$$

Dove:

Δ_{act} è la variazione della domanda di energia che, nel modello di decomposizione usato, è dovuta alla variazione del livello di Attività

Δ_{str} è la variazione della domanda di energia dovuta alla variazione della composizione strutturale del comparto

Δ_{int} è la variazione della domanda di energia dovuta alla variazione dell'intensità energetica sotto-settoriale delle branche.

Si applichino, a titolo di esempio, la 3) e la 4) ai dati della tabella 1.

Il rapporto tra i consumi di energia al tempo T ed i consumi al tempo 0 vale 1,92: in buona sostanza, al tempo T il settore assorbe il 92% in più di energia, vale a dire che ha quasi raddoppiato i consumi.

Applicando la 3) ai dati della Tabella 1, per la componente Attività, il risultato è 1,6. Il valore aggiunto, alla fine del periodo di osservazione, vale il 60% in più del valore iniziale. In pratica, spiegando la domanda energetica con i tre fattori presentati, "lasciando libera di variare" solo la componente Attività, "tenendo ferme" le componenti Struttura ed Intensità, la domanda di energia *varierebbe*, appunto, solo del 60%.

L'aumento dei consumi energetici sperimentato in questo esempio, non può attribuirsi solo al fatto che l'industria "ha prodotto di più" e non solo *nella misura* in cui ha "prodotto di più". Occorre esaminare anche come questo aumento di attività sia stato impattato da modifiche di struttura e di efficienza energetica (*sotto forma di cambiamenti nell'intensità energetica sotto-settoriale*).

Esaminando i dati di tabella 1, si osserva che il settore 1, che al tempo 0 fabbrica 10 e consuma 30 di energia (tralasciando al momento le unità di misura) ha “preso quota”, al tempo T, sull’altro settore, di gran lunga più virtuoso (il settore 2, al tempo 0 fabbrica 40 e consuma energia per 20). Non è difficile comprendere, intuitivamente, che la branca più “energivora”, aumentando di peso nella produzione totale, ha peggiorato il quadro dei consumi energetici complessivo.

Tuttavia, la stessa branca, nell’anno 0 fabbricava 10 e consumava 30: nell’anno T, fabbrica 80 e consuma 40. E’ cambiata anche l’intensità energetica del settore 1, la branca è diventata “più efficiente”: riesce *a fare di più, consumando relativamente meno energia* e ciò attenua il peggioramento della dinamica dei consumi.

Di seguito, alcune note per inquadrare sinteticamente collocazione e sviluppo storico di questi metodi nella letteratura; l’accento a vari classi di metodi rappresentativi e delle loro caratteristiche, per dare una panoramica parziale ma significativa delle potenzialità di queste tecniche di analisi.

2. Brevi cenni storici sullo sviluppo e sui campi di applicazione delle metodologie di decomposizione basate su numeri indice⁴

Gli studi relativi a queste metodologie datano approssimativamente alla seconda metà degli anni 1970 (crisi petrolifera), quando gli analisti energetici si concentrarono sui cambiamenti di struttura del settore industriale per comprendere meglio ragioni e dinamiche dei suoi consumi. Questo studio portò a comprendere la valenza analitica di tali cambiamenti strutturali, dimostratisi più rilevanti e significativi del rapporto tra consumo di energia e produzione, a livello aggregato, per la spiegazione delle fluttuazioni di domanda totale. Legando poi i cambiamenti nella struttura ai consumi di energia delle singole branche industriali, gli esperti realizzarono quale migliore *proxy* dell'efficienza energetica fosse l'intensità energetica sottosettoriale.

Prima della metà degli anni 1980, il livello di complessità della matematica impiegata si mantiene semplice ed intuitivo, con l'impiego di numeri indice di tipo Laspeyres: nella seconda metà degli stessi anni, si assiste ad una sistematizzazione formale degli aspetti legati agli indici di Laspeyres e all'introduzione delle metodologie basate sugli indici Divisia⁵, metodologie formalmente sviluppate a partire dalla prima metà degli anni 1990 e divenute prevalenti, in letteratura, nel corso del tempo.

Le aree di applicazione sono tre: analisi della domanda di energia, analisi delle emissioni di gas serra ed altre varie (come l'analisi dei flussi di materializzazione e dematerializzazione). La prima area si suddivide usualmente tra studio della domanda industriale e quella di altri settori rilevanti, quali i trasporti e la generazione elettrica. Nel corso del tempo, si è assistito ad un chiaro incremento, assoluto e relativo, del numero di lavori relativi alle emissioni di gas serra, evidente riflesso dell'innalzamento del tema ambientale nell'agenda governativa globale. In tale tipo di analisi, si considerano le emissioni correlate alle varie fonti energetiche mediante la domanda di tali fonti, ponderata per mezzo di un coefficiente di emissioni opportunamente stimato.

Si è parlato di metodologie di decomposizione nei termini di tecniche che analizzano una certa grandezza mediante variabili che ne rappresentano la struttura costitutiva interna: ciò ricorda, ad esempio, quello che accade quando si analizzano i consumi di un'economia per mezzo dello studio dei cambiamenti nei prezzi e nelle quantità relative ai vari beni che tali consumi *compongono*, appunto. Quest'ultimo tipo di analisi, che impiega numeri indice, spiega il fatto che le metodologie qui discusse possano essere inquadrare come *Index numbers decomposition analysis*. È utile rimarcare che la decomposizione mediante numeri indice si distingue da una metodologia affine, la cosiddetta *Input-Output decomposition methodology*, (IOD) nata per rilevare a livello quantitativo i cambiamenti di variabili economiche negli schemi input-output di contabilità nazionale⁶.

⁴ Il contenuto di questo capitolo effettua una sintesi estrema ed una serie di forti semplificazioni allo scopo di dare una prima presentazione ed una panoramica strettamente parziale, ma significativa, di queste metodologie. Per la ricchezza dell'analisi metodologica e la sistematizzazione disciplinare operata, i lavori di Ang si presentano come valido riferimento nello studio di questa materia. In particolare si segnalano: (Ang B., 1993), (Ang B., 1994), (Ang & Zhang, 2000), (Ang B. e., 2003).

⁵ Vedi Appendice.

⁶ Le relazioni tra ID e IOD sono un argomento di notevole interesse metodologico, qui non trattato per ragioni di spazio.

Per quanto concerne la tipologia di indici impiegati, essa ricade essenzialmente in due classi, relative alla derivazione dagli indici di Laspeyres o dagli indici Divisia⁷.

In linea di massima, il primo passo da fare è scegliere che **tipo** di indicatore si vuole utilizzare.

Tradizionalmente, le opzioni sono rappresentate da un indicatore quantitativo (per esempio, la domanda di energia o il livello assoluto di emissioni di gas serra) o da un rapporto di una qualche significatività (ad esempio, l'intensità energetica totale del settore industria di un certo paese). Nel primo caso, il vantaggio sta nella comprensibilità immediata dei risultati della decomposizione, mentre nel secondo, meno intuitivo, si beneficia della diretta misurazione dell'"intensità" del fenomeno misurato, in termini di inversa proporzionalità con i concetti di efficienza economica, energetica o ambientale di interesse. Ambedue questi indicatori sono di comune uso: sotto l'aspetto metodologico, passare dal decomporre un rapporto ad un indicatore quantitativo significa mettere nell'analisi un fattore in più: per esempio, dalla decomposizione dell'intensità energetica dei consumi industriali alla decomposizione dei consumi stessi, i fattori aumentano perché ai già presenti si aggiunge la grandezza al denominatore del rapporto (in questo lavoro, il livello di attività dell'industria, il valore aggiunto). Il problema di tali passaggi risiede nel peso sproporzionato che il fattore aggiunto acquista nei risultati della decomposizione, "mettendo in ombra" le altre componenti (ciò che conduce, nei casi in cui la distorsione sia particolarmente evidente, a scegliere un indicatore sotto forma di rapporto).

Per quanto concerne la differenza tra i **modelli additivo** e **moltiplicativo**, essa si esprime essenzialmente nella facilità di presentazione ed interpretazione dei risultati. Se la decomposizione avviene su una serie storica osservata su base annuale è di norma più conveniente adottare l'approccio moltiplicativo, espresso in rapporti, quanto a facilità di rappresentazione e di interpretazione dei risultati. Quando si dispone di osservazioni solo per due anni, iniziale e finale, in mancanza di una serie storica completa, la rappresentazione additiva consente, in media, una migliore comprensione ai non specialisti⁸.

I metodi possono essere valutati, in forma additiva e forma moltiplicativa, mediante dei **test**. Detti test hanno lo scopo di porre in evidenza proprietà desiderabili da associare a tali indici. Sulla base dei test più rilevanti, la struttura parametrica generale ottenuta dagli indici di tipo Divisia (LIU, 1992) (Boyd, Hanson, & Sterner, 1988) (Boyd, McDonald, Ross, & Hanson, 1987) (in particolare gli indici di classe *Log Mean Divisia Index*, LMDI) e gli indici di Laspeyres modificati possiede diverse proprietà desiderabili che li hanno resi, nel tempo, quelli maggiormente utilizzati.

⁷ E' opportuno rammentare che l'indice di Laspeyres rappresenta un adattamento, un'approssimazione al discreto, di quello di Divisia: nondimeno, questa classificazione trova diffusi riscontri in letteratura (Ang B., 2004).

⁸ Pur disponendo di serie storiche su base annuale, il nostro confronto nel caso studi avverrà con l'approccio additivo, per semplificare la trattazione qui intesa a fornire una prima panoramica sulla materia.

In questa sede, si focalizza l'attenzione su questi ultimi metodi: ambedue consentono perfetta decomposizione (residuo zero), pur sfruttando formule assolutamente differenti.

- I metodi Laspeyres modificati riallocano i residui in modo proporzionale fra gli effetti principali della decomposizione, ciò che risulta piuttosto comprensibile a livello intuitivo.
- D'altro canto, i metodi LMDI, l'unica versione discreta degli indici Divisia di forma generale, passano il test di reversibilità temporale e dei fattori e rispettano il principio di proporzionalità, il che, unito alla perfetta decomposizione effettuata, consente di considerarli particolarmente "robusti" in termini di potere e significatività d'analisi.
- Inoltre, quando compaiono degli zero nei dataset, tipicamente per la scomparsa di alcune variabili (ad esempio, nell'analisi della domanda di energia, la sostituzione o cessazione nell'uso di una fonte) anche altri metodi di tipo Divisia, quali l'*Arithmetic Mean Divisia Index* (AMDI), creano residui che i metodi LMDI riescono invece ad eliminare.
- I metodi LMDI, hanno formule omogenee e concise per ogni fattore, facilmente derivabili indipendentemente dal numero degli stessi. Le formule degli indici di Laspeyres modificati sono più complesse e ponderose, specie per più di 3 fattori (caso piuttosto frequente, nelle analisi reali).
- Infine, i metodi Laspeyres modificati sono applicabili solo nella forma additiva, al contrario di quelli LMDI: ultima ragione per constatare, in una valutazione complessiva, una prevalenza delle ragioni metodologiche a favore di questi ultimi, per la maggior parte degli impieghi.

3. Breve descrizione del metodo impiegato nel caso studio

Le analisi effettuate sono basate su una specifica tecnica di decomposizione della domanda mediante numeri indice (LMDI I, Log Mean Divisia Index I). Il metodo è stato applicato nella sua formulazione additiva: di seguito, si riportano formule e brevi commenti per ognuno di essi.

I motivi della scelta attengono alla finalità divulgativa di questo rapporto tecnico, qui orientata a fornire un saggio dei due approcci maggiormente utilizzati in letteratura (basati sugli indici di Laspeyres e sugli indici Divisia): si rimanda, per la versione moltiplicativa dei metodi impiegati e per altri approfondimenti, ai numerosi studi in materia⁹.

Si supponga che il consumo energetico del settore industriale di un ipotetica economia sia dato dalla somma dei consumi energetici di n sottosettori (o branche) della stessa industria. Definiremo le variabili seguenti, al tempo t , come:

- E_t = Consumo totale di energia dell'industria
- $E_{i,t}$ = Consumo totale di energia del settore i -esimo
- Y_t = Produzione totale dell'industria (attività totale)
- $Y_{i,t}$ = Produzione del settore industriale i -esimo
- $S_{i,t}$ = Quota di produzione del settore i -esimo ($=Y_{i,t}/Y_t$)
- I_t = Intensità energetica aggregata dell'industria ($=E_t/Y_t$)
- $I_{i,t}$ = Intensità energetica del settore i -esimo ($=E_{i,t}/Y_{i,t}$)

Impostiamo ora il periodo di variazione degli aggregati dall'istante di tempo 0 al tempo T . La formula che esprime la variazione per la domanda di energia è:

$$7. \Delta E_{tot} = E_T - E_0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int}$$

Dove la lettera E indica la domanda di energia e i pedici hanno il significato consueto, riferito alle componenti Attività, Struttura ed Intensità energetica sotto-settoriale: ad esempio, la componente ΔE_{act} , indica la variazione della domanda di energia che, nel modello di decomposizione usato, è dovuta alla variazione del livello di Attività, in questo caso identificato nel valore aggiunto.

Si riportano le formule delle componenti, ricordando che:

$$\ln(a, b) = (a - b) / (\ln(a) - \ln(b))$$

- 8. $\Delta E_{act} = \sum \left(E_{i,t} - E_{i,0} / (\ln(E_{i,t}) - \ln(E_{i,0})) \right) * \ln(A_{i,t}/A_{i,0})$
- 9. $\Delta E_{str} = \sum \left(E_{i,t} - E_{i,0} / (\ln(E_{i,t}) - \ln(E_{i,0})) \right) * \ln(S_{i,t}/S_{i,0})$
- 10. $\Delta E_{int} = \sum \left(E_{i,t} - E_{i,0} / (\ln(E_{i,t}) - \ln(E_{i,0})) \right) * \ln(I_{i,t}/I_{i,0})$
- 11. $\Delta E_{rsd} = \Delta E_{tot} - \Delta E_{act} - \Delta E_{str} - \Delta E_{int}$

⁹ In particolar modo (Ang & Zhang, 2000).

Dove le variabili rappresentate sono le stesse definite al paragrafo 2.

4. Risultati

4.1 Il dataset

Sono stati raccolti i dati relativi al valore aggiunto e al consumo finale di energia e calcolati quelli della quota di valore aggiunto per branca e dell'intensità energetica sotto-settoriale (componente Intensità) per l'industria italiana nel suo complesso e per 13 branche di attività (di cui 1 residuale data dal totale meno la somma delle 12 branche). Il calcolo è stato poi replicato per Danimarca, Germania, Francia, Olanda e Svezia. Gli anni per i quali sono stati raccolti i dati sono quelli dal 2000 al 2010. La fonte utilizzata è il database pubblico Eurostat disponibile online. La scelta del periodo e dei Paesi usati come termini di confronto è legata alla disponibilità dei dati per il periodo esaminato.

Di seguito, si commentano i risultati ottenuti dalle elaborazioni prodotte con il metodo presentato nel cap. 3.

4.2 I risultati

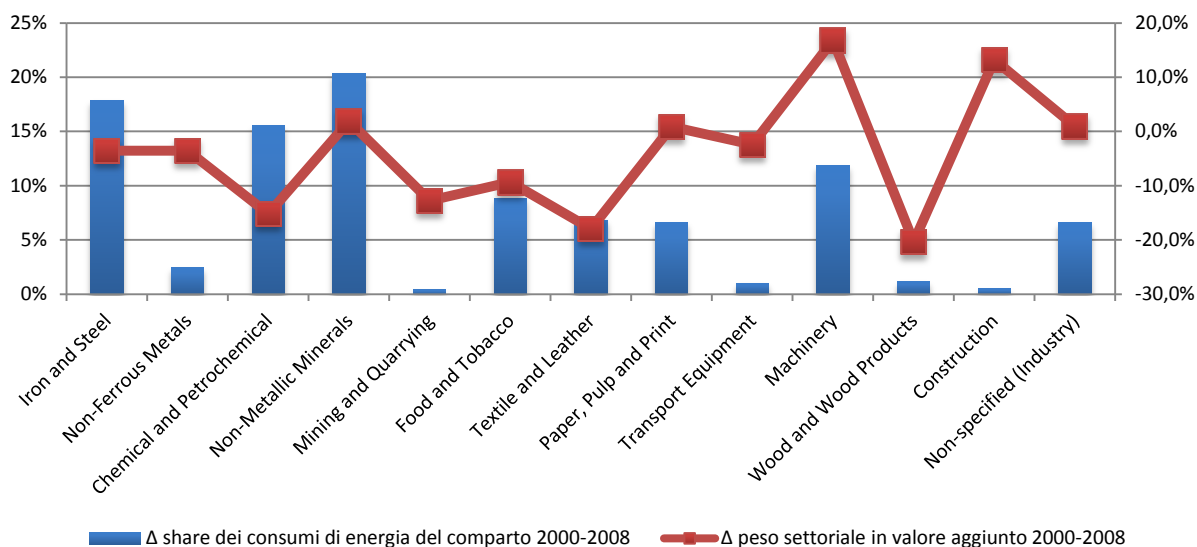
L'analisi condotta è stata divisa in due periodi di diversa lunghezza, quello dal 2000 al 2008 e quello dal 2008 al 2010. Lo scopo di tale suddivisione è evidenziare i cambiamenti prodotti dalla crisi economica globale del 2008. Nei primi 8 anni si evidenzia, in modo particolare per Olanda e Svezia e con la sola eccezione della Danimarca, una decrescita della componente *Intensità energetica sotto-settoriale* nonostante l'aumento del livello di attività, chiaro segno di miglioramenti in termini di efficienza energetica, oltre che di cambiamenti nella struttura settoriale del comparto.

Per quanto riguarda il nostro Paese, la riduzione di domanda energetica risulta spiegata quasi totalmente dall'aumento di efficienza nei consumi energetici del comparto. Il cambiamento strutturale evidenzia peraltro uno shift verso branche meno energivore di lieve entità, comunque più che in grado di compensare l'aumento del valore aggiunto totale del comparto nel periodo registrato.

La figura 1 illustra chiaramente la diminuzione dello share di valore aggiunto sul totale per alcune delle branche più energivore. Le barre evidenziano il peso percentuale dei consumi di energia sul totale del settore industriale nazionale per l'anno 2000.

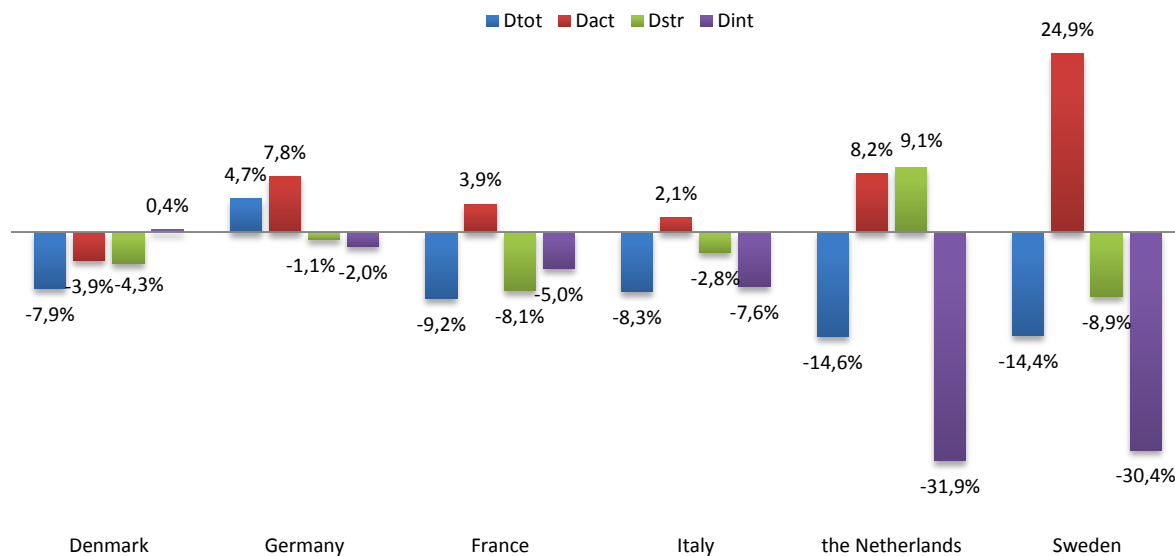
La spezzata unisce i punti che rappresentano il delta percentuale dello share di valore aggiunto detenuto dalle branche tra il 2000 e il 2008. Possiamo ad esempio notare che il settore Iron and Steel, quello di maggiore peso nei consumi energetici, perde rispetto al valore del 2008 il 3,5% del suo share sul totale (espresso in termini percentuali sul valore aggiunto totale del settore manifatturiero, il settore Iron and Steel passa dal 2,91% del 2000 al 2,81% del 2008).

Figura 1 - Cambiamenti percentuali tra 2000 e 2008 nello share di valore aggiunto in milioni di euro del settore industriale italiano per branche di attività. Confronto con lo share delle medesime sul totale consumi di energia del comparto nell'anno 2000



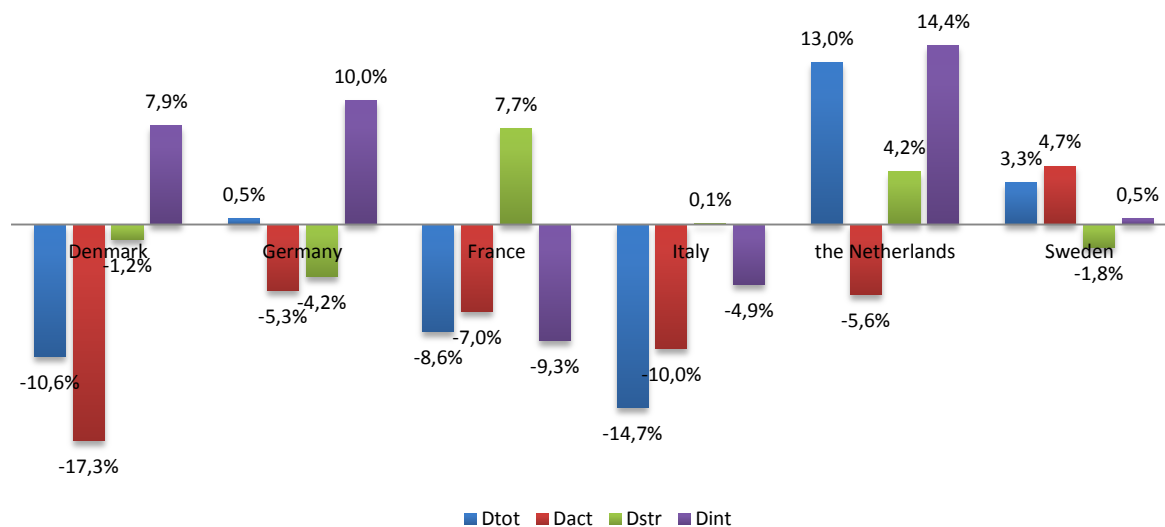
Elaborazioni su dati EUROSTAT

Figura 2 - Decomposizione dei consumi di energia del settore industriale di 6 Paesi UE, 2000-2008



Elaborazioni su dati EUROSTAT

Figura 3 - Decomposizione dei consumi di energia del settore industriale di 6 Paesi UE, 2008-2010



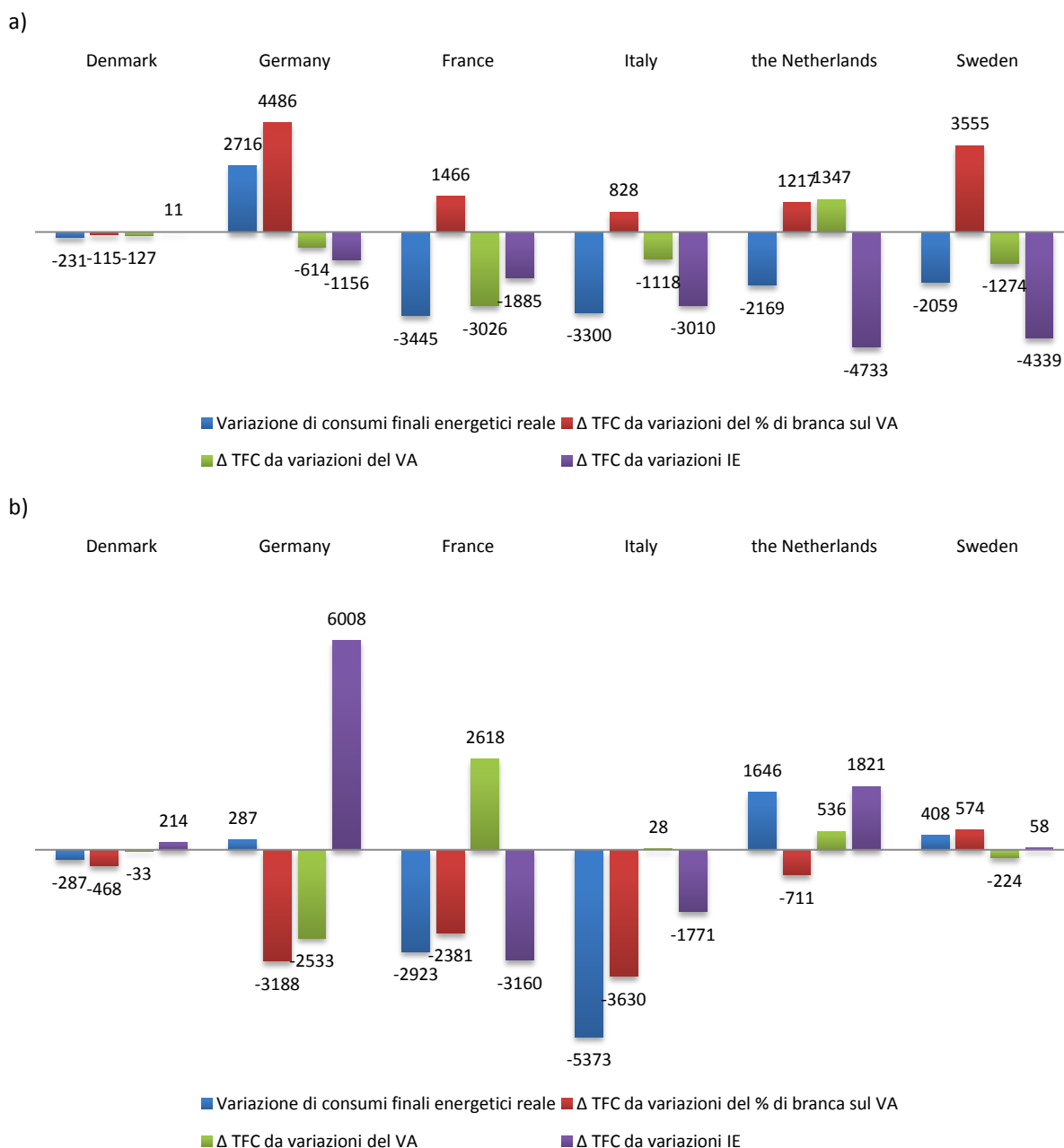
Elaborazioni su dati EUROSTAT

Le figure 3 e 4 mostrano la forte riduzione del volume di attività nel biennio successivo alla crisi economica globale e la conseguente riduzione di attività in termini di valore aggiunto, pur con forti differenze tra i vari Paesi esaminati (Danimarca-Svezia, ad esempio).

Proviamo a tradurre in termini quantitativi i mutamenti del valore assoluto nelle componenti della domanda: nel grafico che segue, si illustra quale variazione assoluta, espressa in termini di ktep, si sarebbe registrata nel comparto manifatturiero dei sei Paesi se avessero agito soltanto le tre componenti del modello, escludendo gli effetti della crisi. Le barre degli istogrammi seguenti indicano, in altre parole, quanti ktep di domanda energetica sarebbero stati generati/sottratti per effetto di ogni singola componente, affiancando tali contributi per ogni Paese.

Prendendo ad esempio la Germania per il grafico 4a): la variazione della domanda energetica dell'industria tedesca tra 2000 e 2008 ammonta a 2716 ktep. Se la variazione di domanda fosse stata commisurata solo alla variazione del livello di attività, in termini di valore aggiunto, del comparto, avremmo assistito ad una crescita di 4486 ktep della domanda medesima; se avesse agito solo lo shift nella struttura del comparto la domanda sarebbe scesa di 614 ktep. I miglioramenti in efficienza energetica del settore avrebbero consentito una diminuzione della domanda di 1156 ktep: sommando algebricamente i tre contributi da attività, struttura e intensità energetica sotto-settoriale otteniamo 2716, che spiega la variazione di domanda di energia totale.

Figura 4 - Decomposizione dei consumi di energia del settore industriale di 6 Paesi UE, 2000-2008 (a) e 2008-2010 (b) - dati in ktep



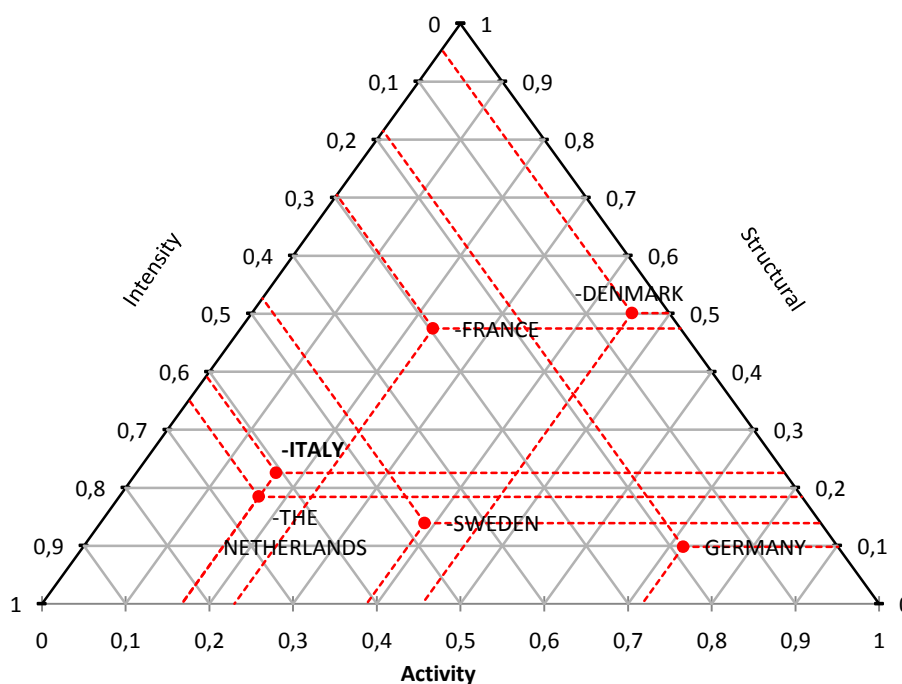
Elaborazioni su dati EUROSTAT

La figura 5 traduce in ktep quanto evidenziato nelle figure 3 e 4 e mostra il guadagno di informazione derivante dalla decomposizione.

Si prenda il caso danese: nel periodo 2000-2008, la variazione della domanda di energia è negativa, vale a dire che il settore manifatturiero della Danimarca impiega meno energia, ma l'analisi evidenzia che ciò si deve a una riduzione nell'output di settore e a ricalibramenti della struttura settoriale, mentre la componente Intensità, che misura in sintesi la performance delle branche, è rimasta praticamente invariata (in realtà lievemente aumentata). Esaminando il periodo 2008-2010, la riduzione di consumo

energetico è ancora più marcata ma, in tale periodo, la componente Intensità cresce ancor più che negli 8 anni precedenti. L'effetto della crisi ha quindi pesato particolarmente sul settore industriale danese, cosicché la contrazione negli usi finali di energia non solo non si può imputare nemmeno parzialmente ad una stima, seppur indiretta, di efficientamento del settore che, anzi, fornisce attraverso il comportamento delle branche in termini di intensità energetica sotto-settoriale, un segnale opposto. E' possibile rilevare per l'industria nazionale la costanza del trend di miglioramento in termini di efficienza energetica sotto-settoriale del comparto manifatturiero, ma evidenziando un notevole scarto tra i livelli del primo periodo, 2000-2008, in cui tale componente spiega quasi da sola la riduzione di domanda, rispetto all'ultimo biennio, in cui tale ruolo è assunto dalla diminuzione del livello di attività, pur mantenendosi il trend virtuoso della diminuzione di intensità energetica delle branche. Una presentazione grafica interessante per sintetizzare il senso dei risultati ottenuti è quella basata su diagrammi ternari:

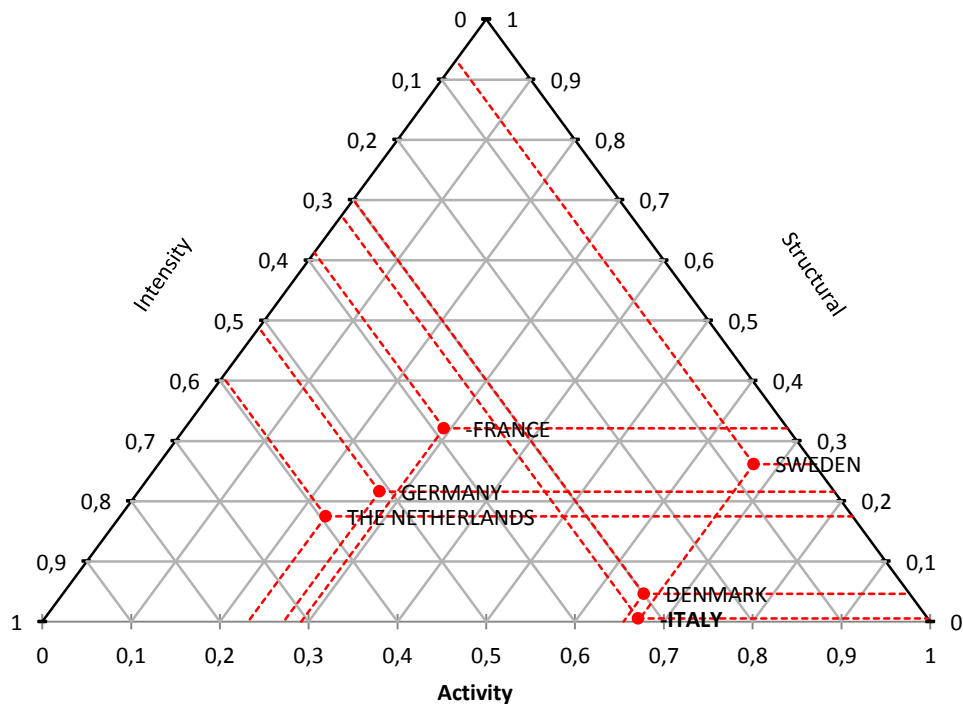
Figura 5 - Diagramma ternario di sintesi dei risultati della decomposizione per gli anni 2000-2008 (dati in %)



Elaborazioni su dati ENEA

La lettura dei grafici soprastanti permette di riscontrare con un metodo visivo diretto quanto detto in forma discorsiva in precedenza: per l'Italia ad esempio, nel periodo 2000-2008 è possibile evidenziare il relativamente basso contributo delle componenti di Attività e Struttura se comparato a quello della componente Intensità; così per gli altri Paesi esaminati.

Figura 6 - Diagramma ternario di sintesi dei risultati della decomposizione per gli anni 2008-2010 (dati in %)



Elaborazioni su dati ENEA

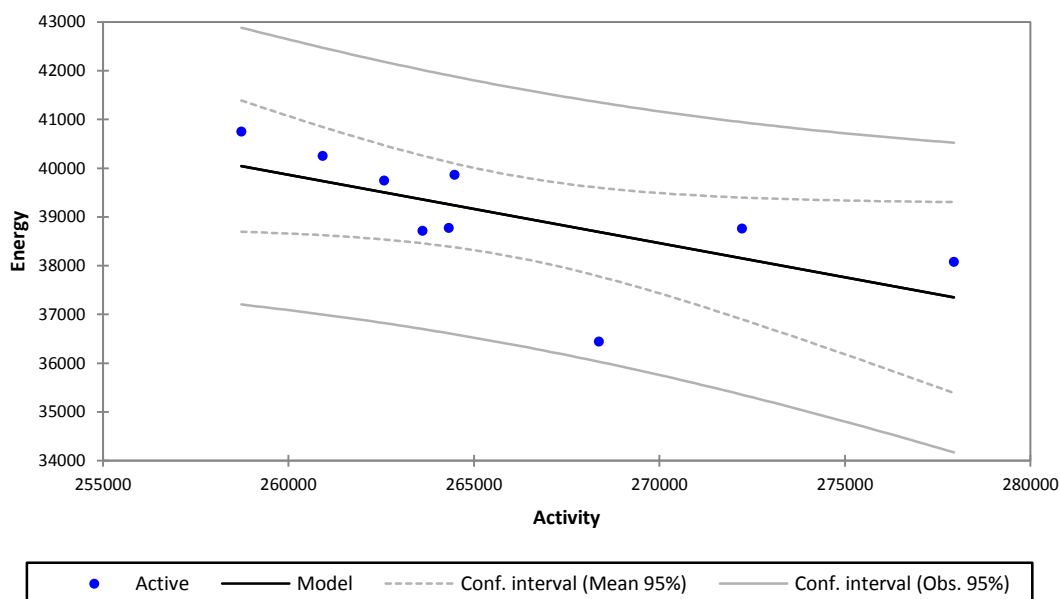
4.3 Regressione e decomposizione a confronto per il caso italiano

Ricordando quanto detto inizialmente sui metodi di inferenza statistica, è ora possibile rilevare che la regressione in oggetto illustra un accordo piuttosto significativo tra livello dei consumi totali di energia del settore e livello di attività in valore aggiunto. E' interessante confrontare quanto spiegato mediante regressione con il modello di decomposizione utilizzato.

Abbiamo osservato che nel periodo 2000-2008, il livello dei consumi finali di energia del settore industriale italiano è passato da 39.738 ktep a 36.438 ktep.

Normalizzando a 1 i contributi percentuali rilevati dal modello di decomposizione di cui in figura 5 a), la componente di attività risulta essere, nel periodo considerato, la minore in termini di contributo esplicativo (17%) rispetto alla variazione della componente strutturale (23%) e della intensità energetica sotto-settoriale (61%) sul totale della variazione dei consumi nel periodo. E' da rilevare l'ordine di errore che il modello di decomposizione evidenzia in confronto alla regressione, che suggerisce per la componente attività una capacità esplicativa più che doppia rispetto al modello.

Figura 7 - Regressione lineare tra consumo di energia del settore industriale italiano (ordinata, in ktep) e livello di attività in valore aggiunto (ascissa, milioni di euro) - Anni 2000-2008 Regression of Energy by Activity ($R^2=0,421$)



Elaborazione ENEA su dati Eurostat mediante software XLStat

4.4 Integrazioni con altre analisi

Quanto segue illustra una possibile applicazione dei risultati di un'analisi di decomposizione in un contesto diverso, nella fattispecie quello dell'esame delle condizioni di competitività industriale legate ai prezzi dell'energia, elettrica in particolare. Il settore manifatturiero italiano, comparato con la media europea e con i principali Paesi UE, risulta penalizzato da prezzi elettrici mediamente più elevati: all'analisi dei dati storici ciò risulta vero per tutte le fasce di consumo, con eccezione di quella 70-150 GWh ma solo se si considerano i prezzi lordi (Gaeta & Rao, 2014). I driver di questa carenza di competitività sono da ricercare non solo nei costi di produzione elettrica e nella tassazione, ma anche nei massicci incentivi alle FER elettriche che hanno un ruolo preponderante negli oneri di sistema caricato in bolletta elettrica; elementi strutturali determinanti sono inoltre quelli relativi al parco di generazione e al mercato elettrico.

Lo studio della componente strutturale del settore industriale si dimostra peraltro di sicura utilità nel replicare l'analisi operata sul settore manifatturiero per il settore elettrico, in modo particolare allo scopo di meglio delineare gli effetti esclusivamente derivati dai prezzi sulla competitività del settore.

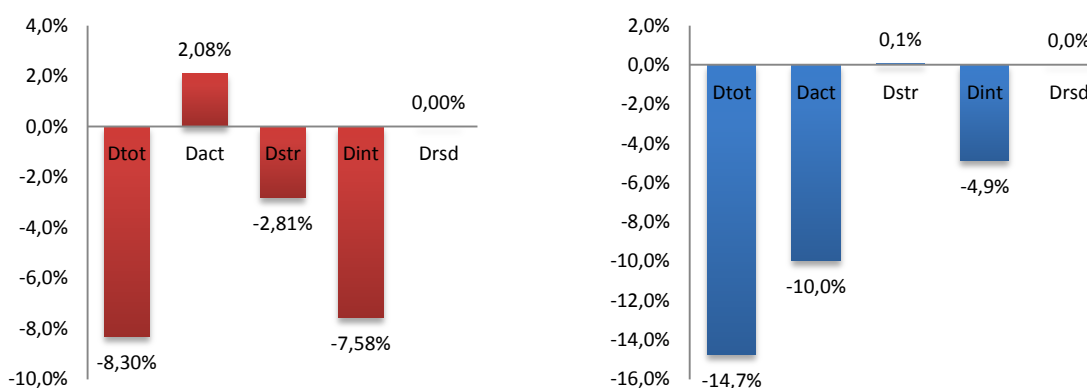
Nel lavoro citato, prima dell'analisi del fattore prezzo si effettua un focus sulla struttura dei settori manifatturieri italiano e dei Paesi a confronto, evidenziando quali di essi

facciano maggiore ricorso in assoluto all'energia elettrica e quanto tale vettore pesi sul valore della produzione, eseguendo l'analisi per branca.

Il collegamento con il lavoro qui svolto è immediato e si pone nei termini di una semplice qualificazione dell'analisi. Se ne riporta di seguito un cenno relativo all'Italia, a scopo esplicativo.

La variazione di domanda energetica nazionale è stata spiegata nei periodi esaminati in questi termini:

Figura 8 - Decomposizione della domanda di energia in Italia – Anni 2000-2008 e 2008-2010

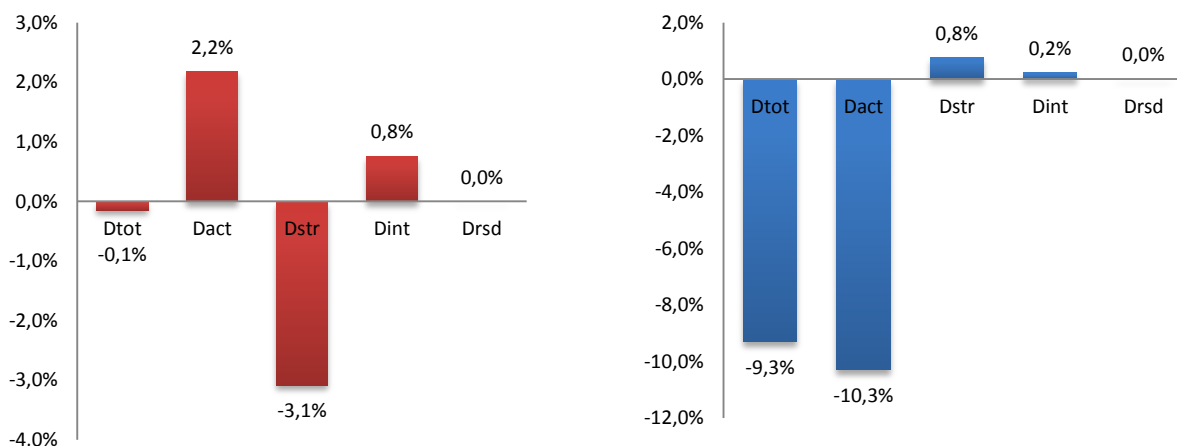


Elaborazioni su dati EUROSTAT

Il peso della componente strutturale è considerevole nel primo periodo e di fatto nullo nel secondo. Questo dato non consente di dedurre specifiche considerazioni sul settore elettrico ma, essendo il vettore elettrico parte consistente del fabbisogno energetico globale (nel 2013 i consumi finali di energia elettrica rappresentavano il 33% del consumo finale totale del settore industriale¹⁰) è lecito chiedersi se un focus dell'analisi sull'energia elettrica possa rivelarsi concorde col soprastante: per rispondere, è sufficiente sostituire al dato del consumo finale di energia quello del consumo finale di elettricità, ottenendo quanto segue:

¹⁰ Ministero dello Sviluppo Economico, dati provvisori da Bilancio Energetico Nazionale.

Figura 9 - Analisi di decomposizione dei consumi finali di energia elettrica del settore manifatturiero italiano - Anni 2000-2008 e 2008-2010 - dati %



Elaborazioni su dati EUROSTAT

L'analisi del settore elettrico si mostra concorde con quella del settore energetico complessivo, evidenziando le stesse dinamiche in termini di fabbisogno e di componenti esplicative, per ambedue i periodi: gli effetti sono modificati, invece, soltanto in termini di intensità come è prevedibile attendersi (la componente strutturale sembra rivestire maggiore importanza nel sistema elettrico che in quello energetico, in termini di capacità esplicativa¹¹). L'esercizio proposto evidenzia la facilità di derivazione di analisi specifiche nel contesto di uno schema base, come il focus sul sistema elettrico partendo da quello energetico e, conseguentemente, le possibilità di integrazione con altri contesti analitici.

Visto quanto sopra è possibile ritornare sul tema dell'impatto in termini di competitività alla luce dei risultati analizzati. Quello che la scomposizione illustra, in termini di impatto sulla domanda, è quanto la composizione del comparto industriale nazionale abbia giocato in termini di aumento della competitività: il contributo alla riduzione della domanda è molto forte nel periodo 2000-2008 e sostanzialmente ininfluente nel periodo successivo, ad indicazione che il settore industriale italiano si è evoluto, in termini di fabbisogno elettrico, in una direzione che (invariate le altre componenti) ha privilegiato una minore richiesta globale di energia (totale e anche elettrica). Queste considerazioni possono sommarsi e amplificare le conclusioni relative al peso di fattori quali gli oneri in bolletta elettrica e le regolamentazione del mercato, ad esempio; ad ulteriore conferma delle potenzialità da valorizzare per il comparto nel contesto europeo.

¹¹ Si ricorda che non la struttura del parco di generazione è in discussione ma quella del comparto manifatturiero in termini di modifica dello share di branca tra i settori energivori e non.

5. Conclusioni

In questo rapporto si è discusso su natura, utilità e sviluppo storico dei metodi matematici di decomposizione delle variabili nel contesto energetico, con la presentazione di un caso di studio, la dinamica dei consumi industriali di sei Paesi UE (Italia compresa) nel decennio 2000-2010 suddiviso in due sotto-periodi (2000-2008 e 2009-2010).

La trattazione ha offerto un saggio sull'utilità di queste tecniche di analisi nel produrre maggiore significatività nei calcoli delle variazioni di misure rilevanti quali gli usi finali di energia di settori economici.

Nel caso studi esaminato, la scomposizione della domanda di energia industriale in tre componenti (il livello di attività, la struttura settoriale e le intensità energetiche delle varie branche), ha illustrato la possibilità di estendere portata e profondità dello studio di tali variabili, per generare maggiore capacità di analisi a servizio del *policy making*.

Figura 1 - Cambiamenti percentuali tra 2000 e 2008 nello share di valore aggiunto in milioni di euro del settore industriale italiano per branche di attività. Confronto con lo share delle medesime sul totale consumi di energia del comparto nell'anno 2000	16
Figura 2 - Decomposizione dei consumi di energia del settore industriale di 6 Paesi UE, 2000-2008	16
Figura 3 - Decomposizione dei consumi di energia del settore industriale di 6 Paesi UE, 2008-2010	17
Figura 4 - Decomposizione dei consumi di energia del settore industriale di 6 Paesi UE, 2000-2008 (a) e 2008-2010 (b) - dati in ktep	18
Figura 5 - Diagramma ternario di sintesi dei risultati della decomposizione per gli anni 2000-2008 (dati in %)	19
Figura 6 - Diagramma ternario di sintesi dei risultati della decomposizione per gli anni 2008-2010 (dati in %)	20
Figura 7 - Regressione lineare tra consumo di energia del settore industriale italiano (ordinata, in ktep) e livello di attività in valore aggiunto (ascissa, milioni di euro) - Anni 2000-2008 Regression of Energy by Activity ($R^2=0,421$)	21
Figura 8 - Decomposizione della domanda di energia in Italia – Anni 2000-2008 e 2008-2010	22
Figura 9 - Analisi di decomposizione dei consumi finali di energia elettrica del settore manifatturiero italiano - Anni 2000-2008 e 2008-2010 - dati %	23

Bibliografia

- Ang, B. (1993). Sector disaggregation, structural change and industrial energy consumption: an approach to analyze the interrelationships. *Energy*, 1033-44.
- Ang, B. (1994). Decomposition of industrial energy consumption: the energy intensity approach. *Energy Economics*, 163-74.
- Ang, B. (2004). Decomposition techniques for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, 1131-1139.
- Ang, B. e. (2003). Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis. *Energy Policy*, 1561-1566.
- Ang, B., & Zhang, F. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 1149-1176.
- Boyd, G., Hanson, D., & Sterner, T. (1988). Decomposition of changes in energy intensity – a comparison of the Divisia index and other methods. *Energy Economics*, 309-312.
- Boyd, G., McDonald, J., Ross, M., & Hanson, D. (1987). Separating the changing decomposition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: a Divisia index approach. *Energy Journal*, 77-96.
- Diewert, W. E. (2001). *The Consumer Price Index and Index Number Theory: A Survey*. Vancouver: Department of Economics, University of British Columbia.
- Gaeta, M., & Rao, M. (2014). Il costo dell'energia elettrica per le imprese. *Energia, Ambiente e Innovazione*.
- IEA. (2004). *Oil Crisis and Climate Challenges – 30 years of energy use in IEA countries, Paris*. Paris: IEA.
- LIU, X. e. (1992). The application of the Divisia Index to the decomposition of changes in industrial energy consumption. *Energy Journal*, 161-177.
- Lofgren, A., & Muller, A. (2010). Swedish CO2 Emissions 1993-2006: An Application of Decomposition Analysis and Some Methodological Insights. *Environmental Resource Economics*, 221-239.

Edito dall' **ENEA**
Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Stampa: Tecnografico ENEA - CR Frascati
Pervenuto il 16.12.2014

Finito di stampare nel mese di gennaio 2015